

УДК 621.316

В.В. Рогаль, канд. техн. наук, В.С. Капштик

Компенсація реактивної потужності в повторно-короткочасних режимах роботи

У статті розглянуто особливості керування конденсаторними установками компенсації реактивної потужності в мережах промислового електропостачання при повторно-короткочасних режимах роботи асинхронних двигунів. З метою виявлення проблем, що виникають при використанні конденсаторної установки при повторно-короткочасних режимах роботи проведено моделювання у середовищі MatLab процесів, які відбуваються у компенсаторі при використанні різних типів комутуючих пристроїв. Дослідження перехідних режимів при комутації конденсаторних батарей дозволило розробити рекомендації щодо керування напівпровідниковими комутаторами компенсаторів для усунення часових затримок між повторними комутаціями.

The article deals with the administration of capacitor plants for reactive power compensation in industrial power supply networks of re-work the regimen of induction motors. To identify problems encountered in using the capacitor re-installation of the regimen of work carried out simulation in MatLab processes that occur in compensatory using different types of commutating devices. Investigation of switching transient condenser batteries allowed to develop recommendations to control semiconductor switches compensators to eliminate time lags between repeated switching.

Ключевые слова: компенсація, конденсаторний компенсатор, повторно-короткочасний режим, реактивна потужність.

Вступ

Одним з основних видів навантаження в промислових електромережах є асинхронні електродвигуни та розподільні трансформатори. Це індуктивне навантаження в процесі роботи є джерелом реактивної електроенергії (реактивної потужності), яка циркулює між навантаженням і джерелом (генератором) та не пов'язана з виконанням корисної роботи, а лише створює додаткове навантаження на силові лінії електроживлення [2-3, 5-7]. Із введенням надбавок на тарифи оплати за електроенергію в залежності від кількості реактивної потужності, спожитої чи по-

вернутої в мережу, проблема компенсації реактивної потужності в мережах промислового енергопостачання набуде ще більшої актуальності.

Класифікація режимів роботи асинхронних двигунів

Міжнародною класифікацією передбачаються 8 номінальних режимів, які відповідно до міжнародної класифікації мають умовні позначення S1 - S8.

Серед них виділяють повторно-короткочасний режим роботи S3 - послідовність ідентичних циклів роботи, кожен з яких включає час роботи при незмінному навантаженні, за який машина не нагрівається до усталеної температури, і час стоянки, за який машина не охолоджується до температури навколишнього середовища.

У цьому режимі цикл роботи такий, що пусковий струм не робить помітного впливу на перевищення температури. Тривалість циклу недостатня для досягнення теплової рівноваги і не перевищує 10 хв. Режим характеризується величиною тривалості включення (ТВ) у відсотках:

$$ТВ = (t_p / (t_p + t_n)) \times 100\%$$

Нормовані значення тривалості включення: 15, 25, 40, 60%, або відносні значення тривалості робочого періоду: 0,15; 0,25; 0,40; 0,60.

Для режиму S3 номінальні дані відповідають лише певному значенню ТВ і відносяться до робочого періоду.

Класифікація компенсації реактивної потужності

Залежно від того, як включені в мережу компенсуючі пристрої, компенсація поділяється на поперечну та поздовжню. При поперечній компенсації компенсуючі пристрої включаються в мережу паралельно до електроприймачів, а при поздовжній - послідовно. Для поперечної компенсації можуть використовуватися статичні конденсатори, синхронні двигуни, синхронні компенсатори та компенсаційні перетворювачі, а для поздовжнього - тільки конденсатори.

Найбільш широко на промислових підприємствах застосовується поперечна компенсація. Залежно від місця підключення компенсуючого пристрою поперечна компенсація може бути ро-

зділена на індивідуальну, групову і централізовану [2-5].

Окрім цієї класифікації компенсації реактивної потужності, необхідним є введення ще однієї, за тривалістю компенсації. Так, окремо можна виділити компенсацію реактивної потужності у повторно-короткочасних режимах роботи, адже такі режими роботи мають специфічні вимоги до елементів схеми та до їх роботи.

Всі виробники конденсаторних батарей для компенсації реактивної потужності вказують час остаточної розрядки від трьох до п'яти хвилин. Іншими словами це означає, що повторну комутацію такого конденсатора можна виконувати лише через 3-5 хвилин [3], що зовсім не підходить під поняття повторно-короткочасного режиму роботи. Цей проміжок часу зумовлений такими факторами:

- надання конденсатору можливості закінчити перехідний процес розряду після його вимкнення;
- час, необхідний для охолодження зарядних та розрядних резисторів, адже їх перегрів може призвести до виводу конденсаторної установки з ладу, бо в переважній кількості випадків виробники вбудовують резистори у блок конденсатора;
- час остаточного замикання контактів контакторів, з урахуванням часу брязкоту контактів.

Метою роботи є дослідження перехідних режимів при комутації конденсаторних батарей

для виявлення проблем, які виникають при використанні різних типів комутуючих пристроїв та розробка рекомендацій щодо керування напівпровідниковими комутаторами конденсаторних батарей у повторно-короткочасних режимах роботи для усунення часових затримок між повторними комутаціями.

Моделювання процесів

За основу візьмемо схему, зображену на рис. 1.

На рис. 1 зображено модель у середовищі MatLab схеми конденсаторного компенсатора з контакторами у ролі комутуючих елементів. На схемі:

E_a, E_b та E_c – трифазне джерело напруги, $PreSwitch_{1,2,3}$ – основні контакти контакторів, $PreSwitch_{1,2,3}$ – контакти попереднього замикання відповідних контакторів, $R_{pre_{1,2,3}}$ – зарядні резистори ланцюгів попереднього замикання відповідних контакторів, $C_{1,2,3}$ – компенсаційні конденсатори, $R_{1,2,3}$ – відповідні розрядні резистори.

Без встановлення додаткових контактів попереднього замикання в початковий момент часу, після замикання контакторів, пускові струми відповідних їм конденсаторів набувають значень, що, в залежності від моменту комутації, можуть призвести до виводу конденсатора з ладу. Осцилограми струму та напруги одного з конденсаторів та відповідної йому лінійної напруги зображено на рис. 2.

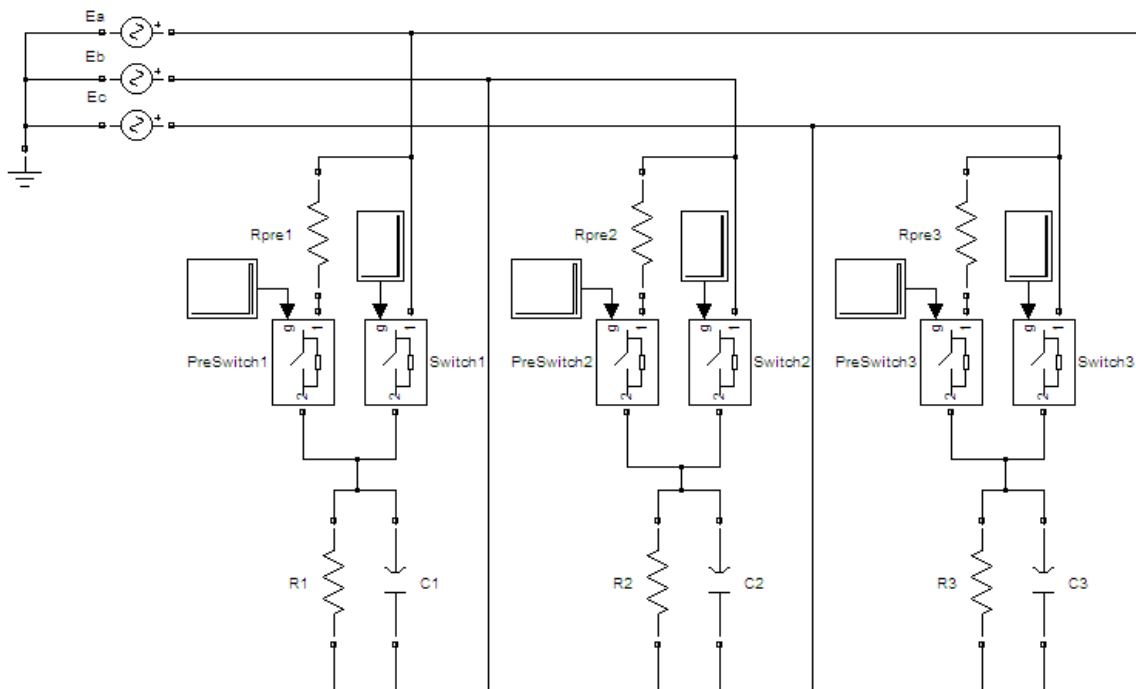


Рис. 1. Модель схеми конденсаторного компенсатора з контакторами у ролі комутуючих елементів

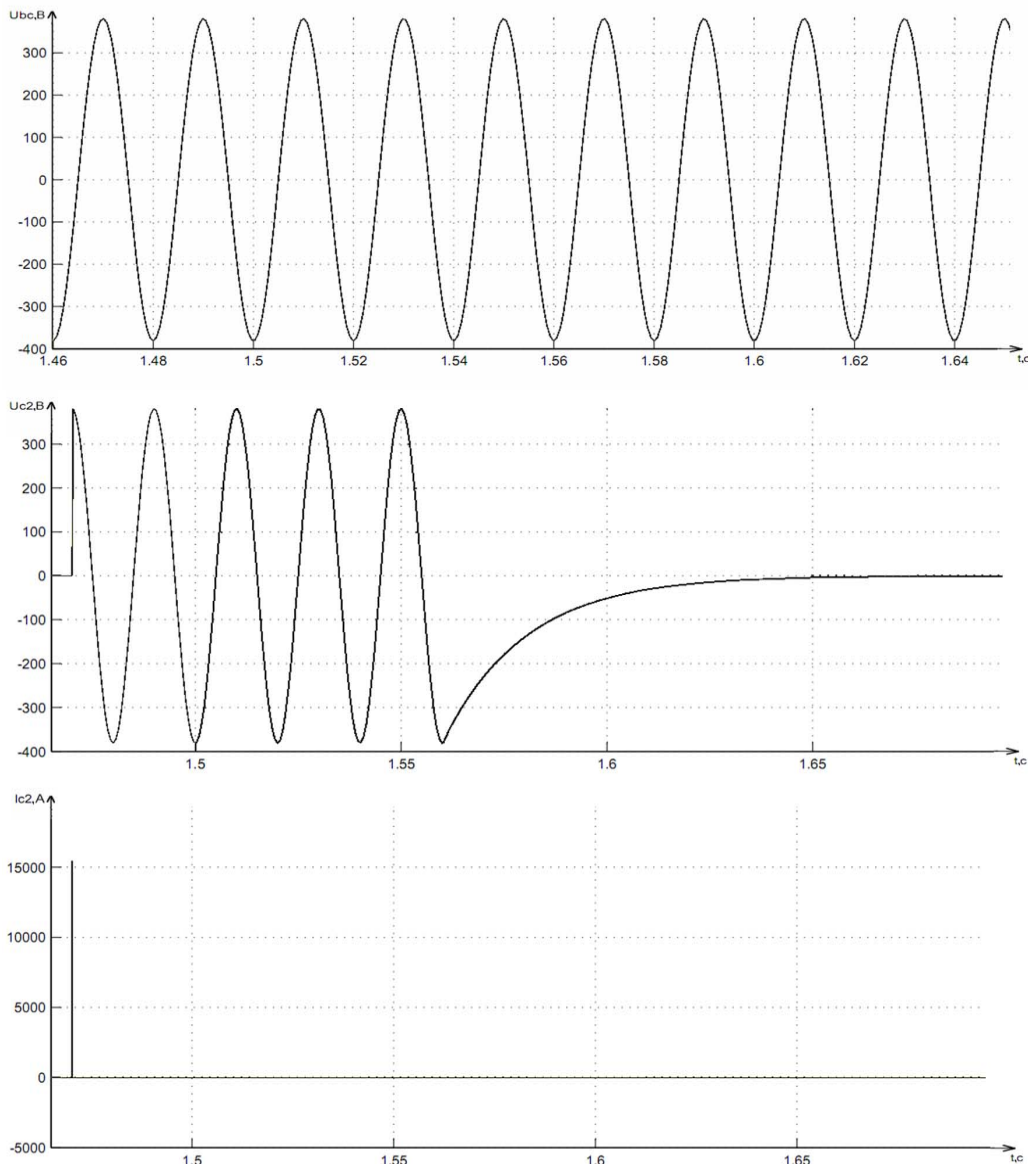


Рис. 2. Осцилограми лінійної напруги U_{BC} , напруги U_{C2} та струму I_{C2} конденсатору $C2$

На осцилограмах, зображених на рис. 2, видно зміни струму та напруги на конденсаторі $C2$ у випадку, коли комутація конденсатора відбувається в момент проходження відповідної йому лінійної напруги U_{BC} через своє амплітудне значення. В цьому випадку миттєвий стрибок пускового струму сягає значення, близького до 15000 А. Це пояснюється прийнятими припущеннями, що використовуються лише ідеальні напівпровідникові елементи, відсутні втрати у підводящих проводах, та ін. Хоча в реальних пристроях це значення буде значно менше, воно все ж є неприпустимим для повторно-короткочасних режимів роботи. Так як вважається, що час комутації нескінченно малий, то приріст струму, який відповідає фіксованому приросту напруги за нескінченно короткий проміжок часу, буде набувати значень, як на рис. 2.

Рекомендації щодо комутації конденсаторних батарей

Відповідно до сказаного вище, логічним є створення певних рекомендацій щодо підключення конденсаторних батарей, дотримання яких призведе до зменшення значних пускових струмів.

Так рекомендується проводити підключення та відключення конденсаторних батарей в моменти проходження лінійних напруг через значення, що близькі або в ідеалі рівні нулю.

При дотриманні запропонованих рекомендацій щодо комутації конденсаторної батареї компенсатора реактивної потужності, схема якого зображена на рис.1, стрибок пускового струму вдалося зменшити до рівня, що не перевищує номінальне амплітудне значення струму конденсатору $C2$, як і показано на осцилограмах, приведених на рис.3.

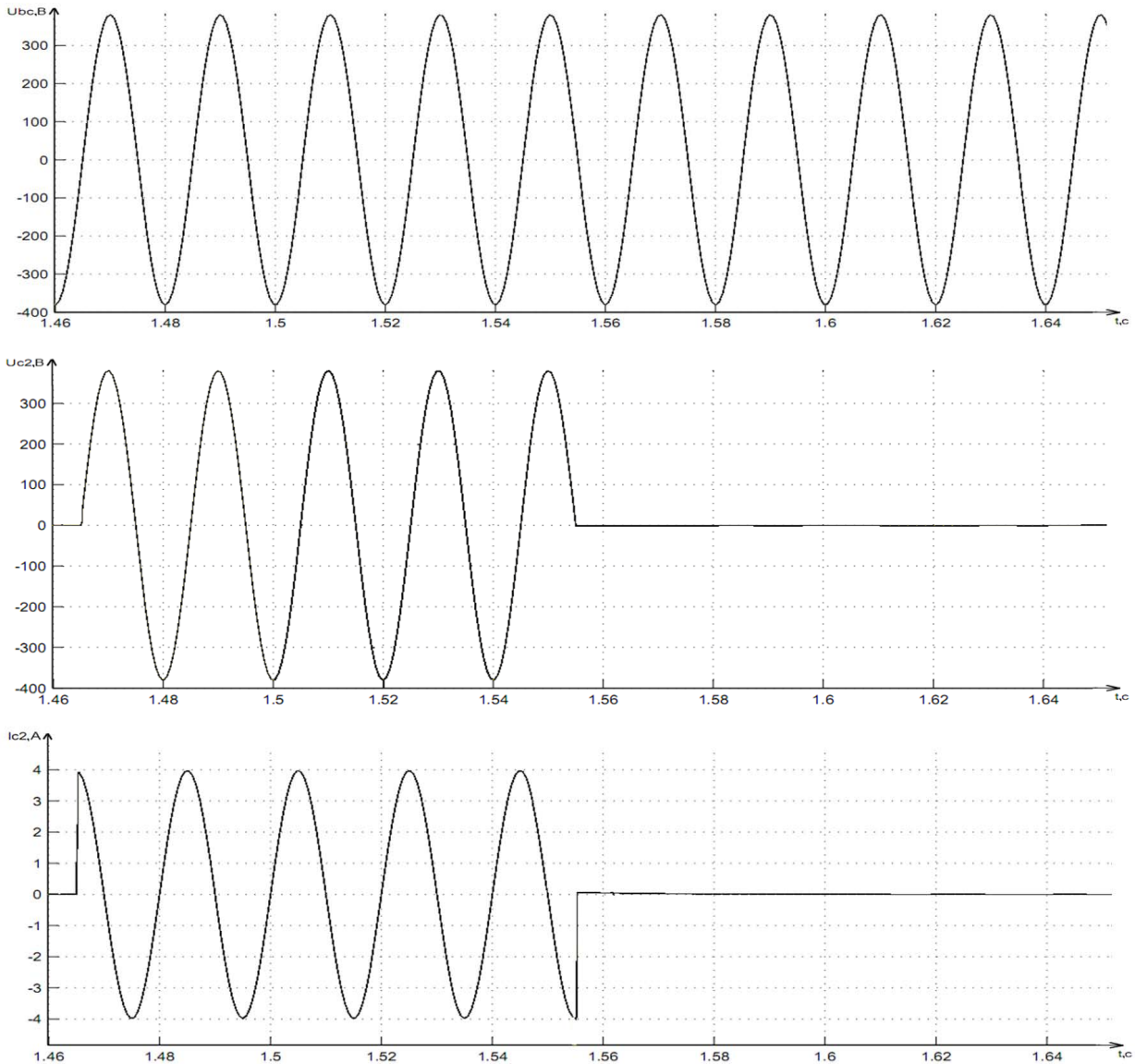


Рис. 3. Осцилограми лінійної напруги U_{BC} , напруги U_{C2} та струму I_{C2} конденсатора C2 при дотриманні рекомендацій щодо комутації

Як видно з рис.3, момент комутації конденсатора C2 відповідає моменту проходження відповідної йому лінійної напруги U_{BC} через нульове значення. Стрибок струму в момент комутації не перевищує амплітудного значення.

В реальних електромагнітних пусках присутнє таке явище, як брязкіт контактів. Брязкіт контактів - це багаторазове неконтрольоване замикання і розмикання контактів при перемиканні. Внаслідок цього відбувається багаторазове непередбачуване спрацьовування комутаторів у схемі пристрою [1]. У таблиці 1 приведено значення тривалості часу брязкоту контактів для сучасних контакторів [3].

Таким чином контакти електромагнітних пускачів будуть замикатися і розмикатися певну кількість разів протягом деякого часу, викликаючи при цьому кожний раз новий перехідний процес.

Це може призводити до зміщення миті комутації конденсаторів від моменту проходження відповідної лінійної напруги через значення близьке або рівне нулю до моменту досягнення відповідною йому лінійною напругою амплітудного значення. В цьому випадку пусковий струм конденсатора може набути такого значення, яке призведе до виводу його з ладу або суттєвого скорочення строку служби.

За рахунок комутації у певні моменти часу можна усунути затримку часу, необхідну для розряду конденсаторної батареї. Якщо відключати конденсатор в момент проходження відповідної йому лінійної напруги через нуль, то до нього буде прикладена напруга близька до нуля, і заряд конденсатора також буде рівний нулю, а тому і час розряду буде близький до нуля.

Для запобігання такого явища, як суттєве зміщення моменту комутації через брязкіт контактів, пропонується використовувати електронні ключі. Модель схеми конденсаторного компенсатора реактивної потужності з використанням електронних ключів зображена на рис.4.

На схемі, зображеній на рис.4, комутуючими елементами є симістори *Simistor 1,2,3*, кожен з яких складається з пари зустрічно-паралельних тиристорів.

При застосуванні рекомендацій щодо комутації конденсаторних батарей до схеми, зобра-

женої на рис.4, отримано осцилограми, що зображено на рис.5.

Однак, як видно з осцилограм струму та напруги конденсатора *C2*, зображених на рис.5, процес вимикання конденсаторної батареї відбувається не в момент зняття керуючого імпульсу з входу симістора. Це зумовлено принципом роботи симістора, адже його запирання відбувається тільки після спадання його струму до нуля, навіть за умови зняття сигналу управління з керуючого електрода.

Таблиця 1. Час брязкоту контактів у контакторів сучасних виробників

п/п	Виробник	Модель контактора	Брязкіт контактів, мс
1	Siemens (Німеччина)	3RT10 2	Від 8 до 44
2		3RT10 34	Від 11 до 30
3		3RT10 35	Від 10 до 24
4		3RT10 36	Від 10 до 24
5	ТЕХЭНЕРГО (Росія)	ПМЛ 1100-09	Від 12 до 22
6		ПМЛ 1100-12	Від 4 до 20
7		ПМЛ 2100-25	Від 5 до 25
8		ПМЛ 3100Н-32	Від 20 до 27
9		ПМЛ 5100-80	Від 6 до 20
10	Електропромислова компанія (Росія)	ПМЛ-1252СМО2	Від 10 до 24
11		ПМЛ-2252СМО2	Від 17 до 27
12		ПМЛ-3252СМО2	Від 16 до 28

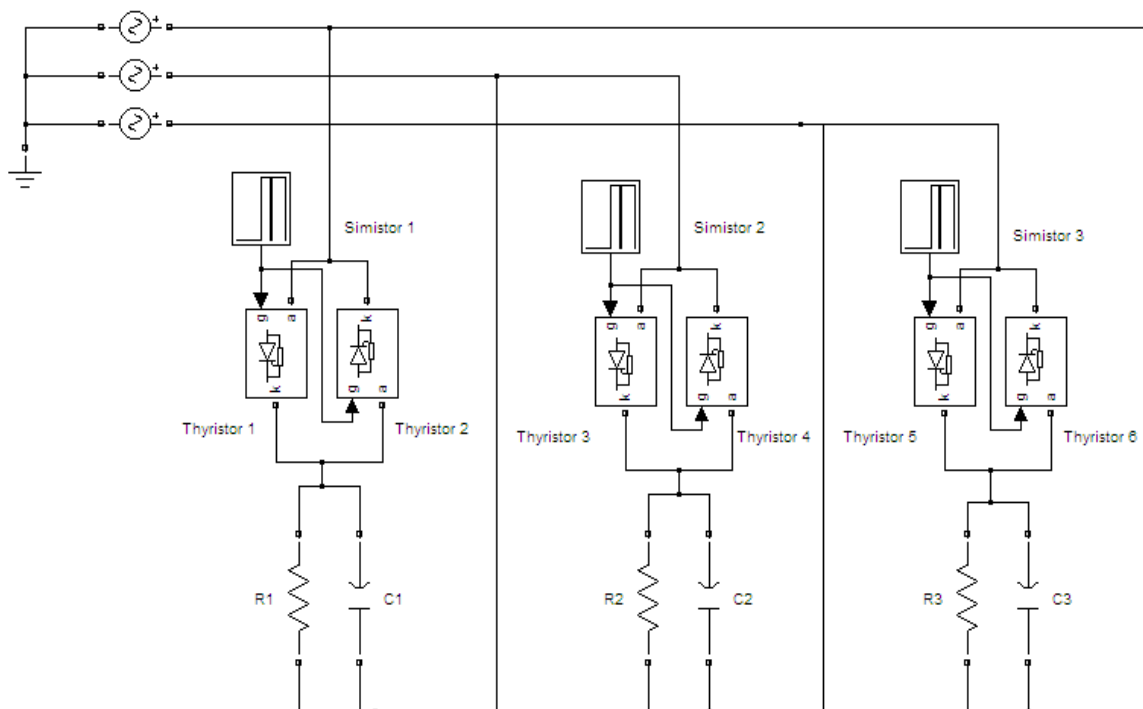


Рис. 4. Модель схеми конденсаторного компенсатора з симісторами у ролі комутуючих елементів

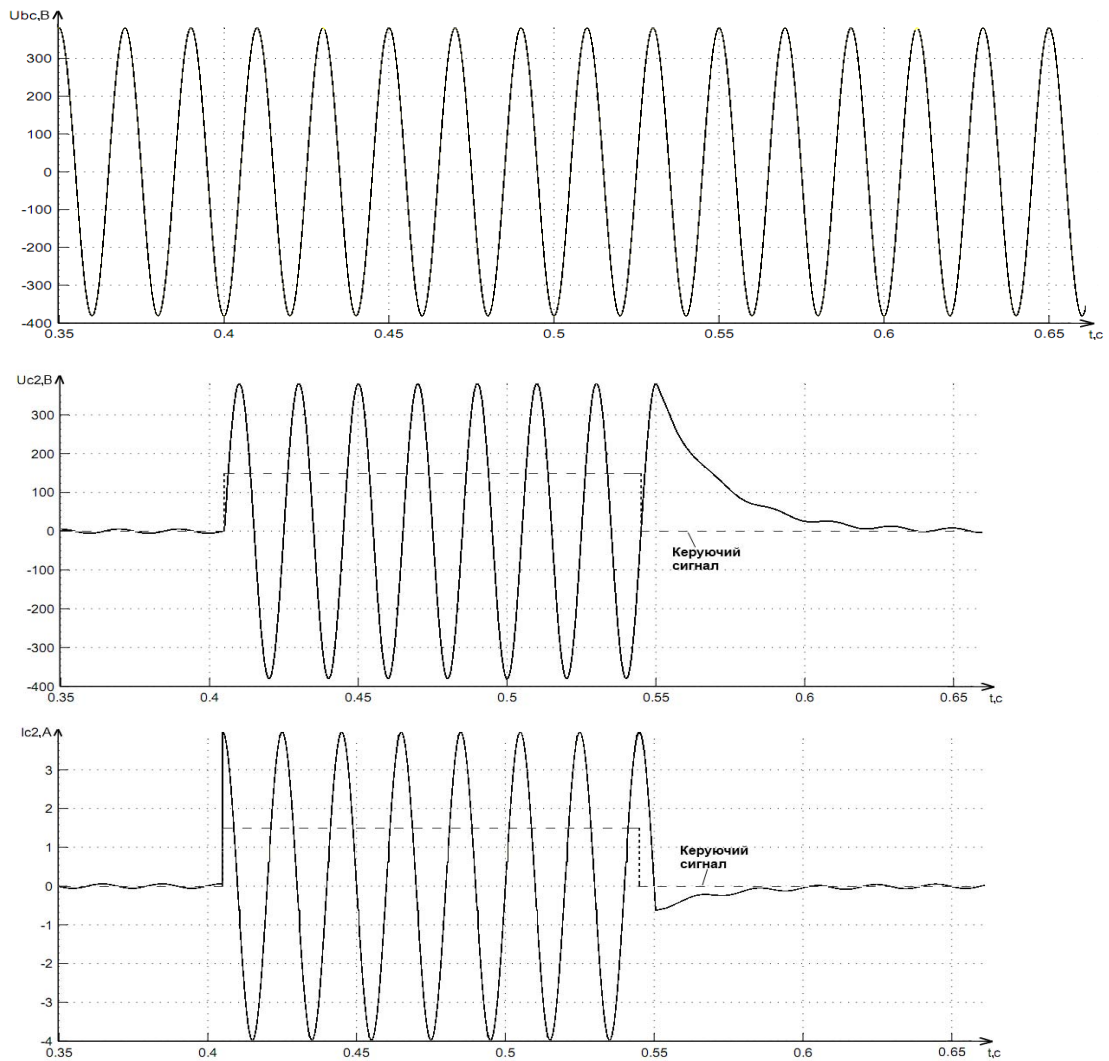


Рис. 5. Осцилограми лінійної напруги U_{BC} , напруги U_{C2} та струму I_{C2} конденсатору $C2$, та напруги на симісторі $Simistor_2$ при застосуванні симісторів в ролі комутуючих елементів

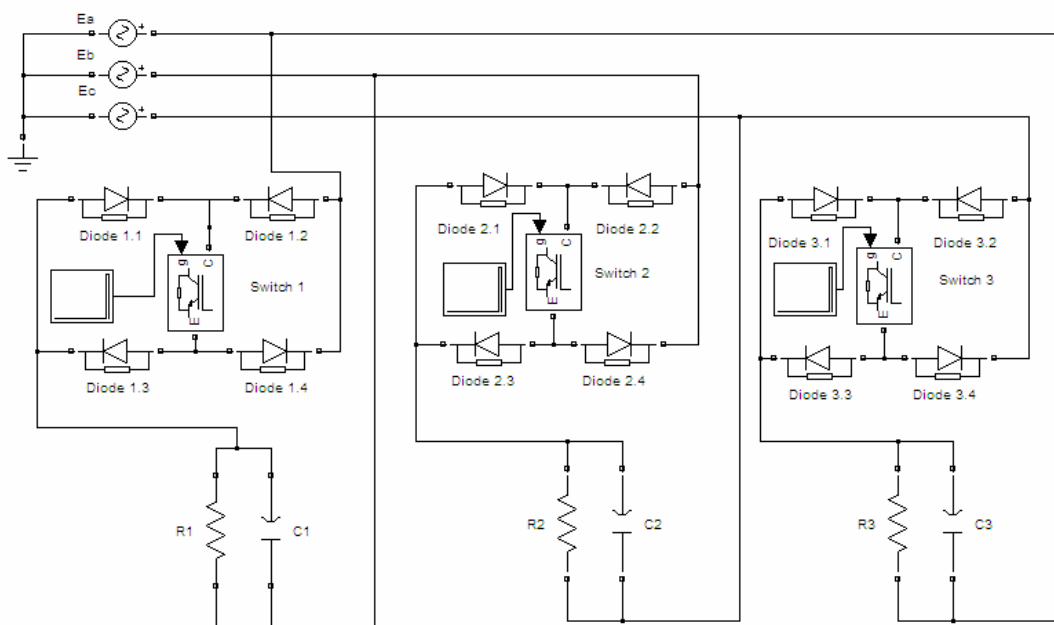


Рис. 6. Модель схеми конденсаторного компенсатора з повністю керованими електронними ключами у ролі комутуючих елементів

Усунути цей недолік дозволяє використання повністю керованих електронних ключів у ролі комутуючих елементів. Модель схеми конденсаторного компенсатора реактивної потужності з повністю керованими електричними ключами у ролі комутуючих елементів зображено на рис.6. Комутуючим елементом у такому випадку є діодний міст з встановленим у діагональ IGBT транзистором.

Осцилограми струму та напруги конденсаторів у схемі, що наведена на рис.6, зображено на рис.7.

Як видно з осцилограм, приведених на рис. 7, моменти підключення та відключення

конденсаторних установок компенсатора реактивної потужності чітко відповідають поданню та зняттю керуючих імпульсів на вхід електронного ключа, що дозволяє уникнути необхідності витримки часу між повторними комутаціями конденсаторних батарей компенсаторів, тобто повторну комутацію конденсатора можна проводити в наступний момент проходження відповідної йому лінійної напруги через нульове або близьке до нуля значення. Найближчий такий момент буде через проміжок часу, що не перевищує періоду мережевої напруги.

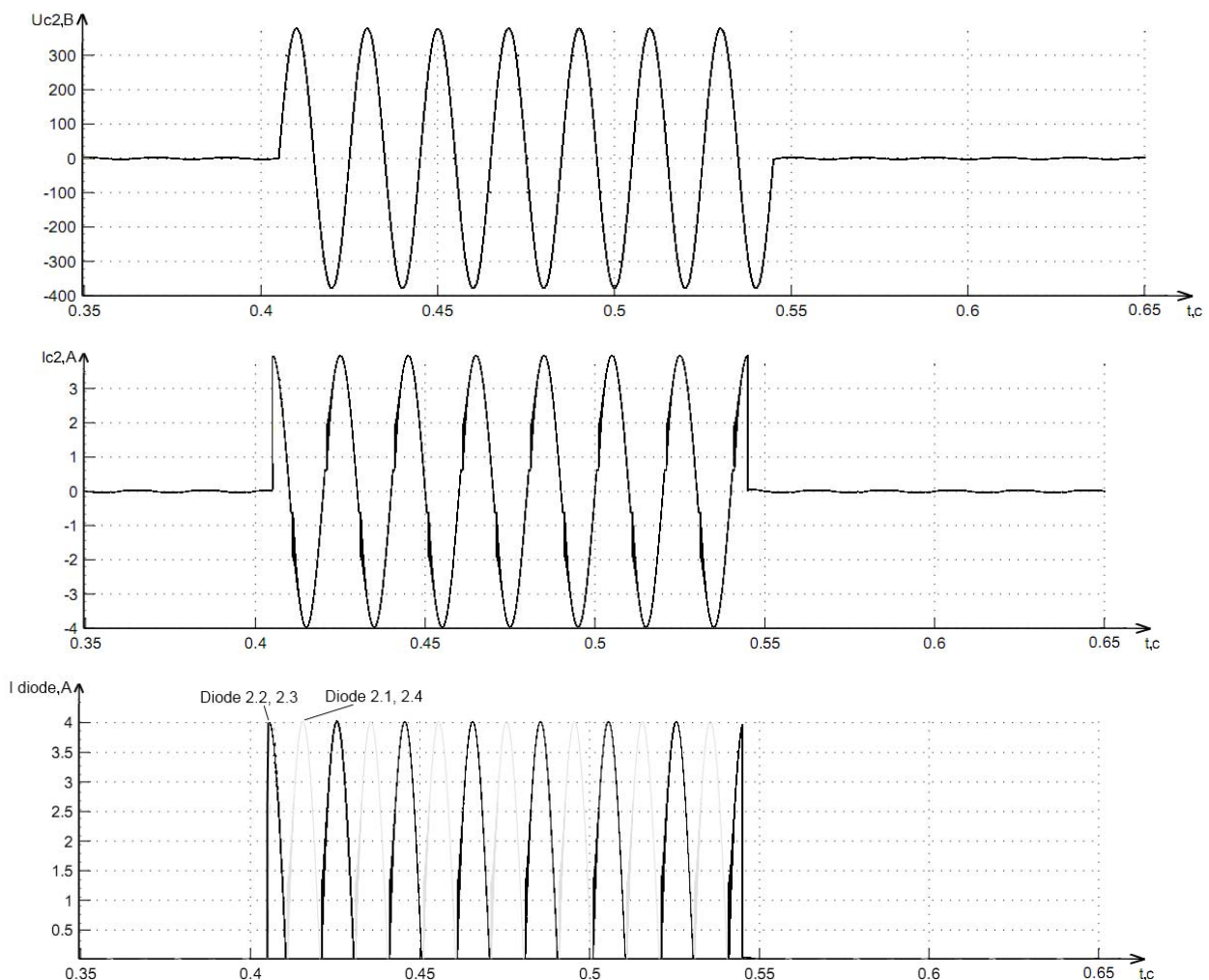


Рис.7. Осцилограми напруги U_{C2} та струму I_{C2} конденсатора C_2 , та струму діодних пар при застосуванні повністю керованих електронних ключів в ролі комутуючих елементів

Висновки

1. Застосування контакторів як комутуючих елементів конденсаторного компенсатора не дозволяє провести підключення або відключення у необхідні моменти часу через явище брязкоту контактів.

2. Застосування твердотілих реле на тиристорах (симісторах) дозволяє обмежити значення пускових струмів за рахунок підключення конденсаторної батареї в момент проходження лі-

нійної напруги через нульове значення. Відключення не може бути проведене у необхідний момент часу, так як розмикання таких реле відбувається після спадання струму, що проходить через них, до нуля.

3. Застосування повністю керованих електронних ключів дозволяє як підключати, так і відключати конденсаторну батарею в необхідні моменти часу, що усуває перехідні процеси у конденсаторному компенсаторі та дозволяє сут-

тево зменшити час, який необхідно витримати між повторними комутаціями конденсаторної установки.

Література

1. www.ru.wikipedia.org
2. *Константинов Б.А.*, Зайцев Г.З. "Компенсация реактивной мощности" –Л.: Энергия, 1976. –104 с.
3. *Карлович Я.*, Стржелецки Р., Денисюк С.П. Следящее управление последовательным компенсатором искаженной сети // Тез. 3-й Пол. – Сов. конф. "Комплексная автоматизация промышленности", 13-16 окт. 1988 г. – Ворцлав, 1988.
4. *Волков И.В.* Минимализация реактивной мощности элементов индуктивно-емкостных преобразователей // Пробл. техн. электродинамики. – 1972. – Вып. 35. – С. 143.
5. *Тонкаль В.Е.*, Новосельцев А.В., Денисюк С.П., Жуйков В.Я. и др. Баланс энергий в электрических цепях. – К.: Наук. думка, 1992. – 312 с.
6. *Лабунцов В.А.*, Чаплыгин Е.Е. Компенсаторы неактивной мощности на вентилях с естественной коммутацией // Электричество. – 1996. – №9.
7. *Жежеленко И.В.*, Саенко Ю.Л. Реактивная мощность в задачах электроэнергетики // Электричество. – 1987. – №2.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»